

水温と魚類の生息場から見た 減水区間の流量評価 —信濃川中流域における取組—

DEVELOPING THE TECHNIQUE FOR ASSESSING THE SUITABILITY
HORIZONTALLY DISTRIBUTED FOR THE FISH HABITAT IN VIEW OF
WATER TEMPERATURE
- AT THE MIDDLE REACH OF SHINANO RIVER -

杉本利英¹・天野雄介¹・稲川貢²・

倉田貴文³・平島英恵³・尾関哲史⁴・東尚之⁴・黒崎靖介⁴

Toshihide SUGIMOTO, Yusuke AMANO, Mitsugi INAGAWA, Yoshifumi KURATA,
Hanae HIRASHIMA, Tetsushi OZEKI, Naoyuki AZUMA, Yasusuke KUROSAKI

¹正会員 国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所 (〒940-0098 新潟県長岡市信濃1-5-30)

²国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所 (〒940-0098 新潟県長岡市信濃1-5-30)

³日本工営株式会社河川水工部 (〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4)

⁴日本工営株式会社環境部 (〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4)

The severe depletion of river flow harms aquatic ecosystem, while hydropowers divert a lot of water from Shinano River. One of the main issues on river environment in the middle reach of Shinano River is that the warming of river-flow caused by the depletion of river flow in summer damages the habitat of fishes.

This study drew the water temperature distribution map based on the observation of water temperature in the surface and bottom of river flow, and found that the short stretch of river has both suitable and inhospitable environments for fish in view of water temperature. It also found the suitability for the fish habitat related to water temperature. The technique for assessing the suitability horizontally distributed for the fish habitat in the case of various river flow regime was developed based on those findings already stated.

Key Words : *depletion of river flow, hydropower, fish habitat, river-flow warming,
water temperature*

1. はじめに

発電取水によって生じる河川の減水区間では、流量の減少に伴うさまざまな環境影響が生じるが、その一つとして、水温変化が大きくなり、特に夏期の水温上昇が著しくなる場合があることが知られている¹⁾²⁾。信濃川中流域の減水区間では、流量減少に伴い夏場の水温が上昇し、魚類の生息環境を悪化させていることが、大きな環境課題の一つとなっている。

水温は河川の物理環境を構成する重要な要素であるが、河川内の局所的な水温分布について詳細に報告した事例はみられない。魚類の生息場変化の水深、流速などの観

点からの河川流量の評価は一般的であり³⁾、魚類の生息適性モデルに水温を組み込んだ例⁴⁾や、代表地点での実測水温を基に流量変化による魚類の生息環境改善について考察した例⁵⁾はあるが、水温を含めた魚類の局所的な生息環境評価に基づく河川流量の評価を行った例はみられない。

本報では、河川内の局所的な水温分布に着目することの必要性を示した上で、減水区間の流量を増加させた場合における魚類の生息場の変動について、生息場及び水温の観点から検討した結果について報告する。

2. 検討対象地域

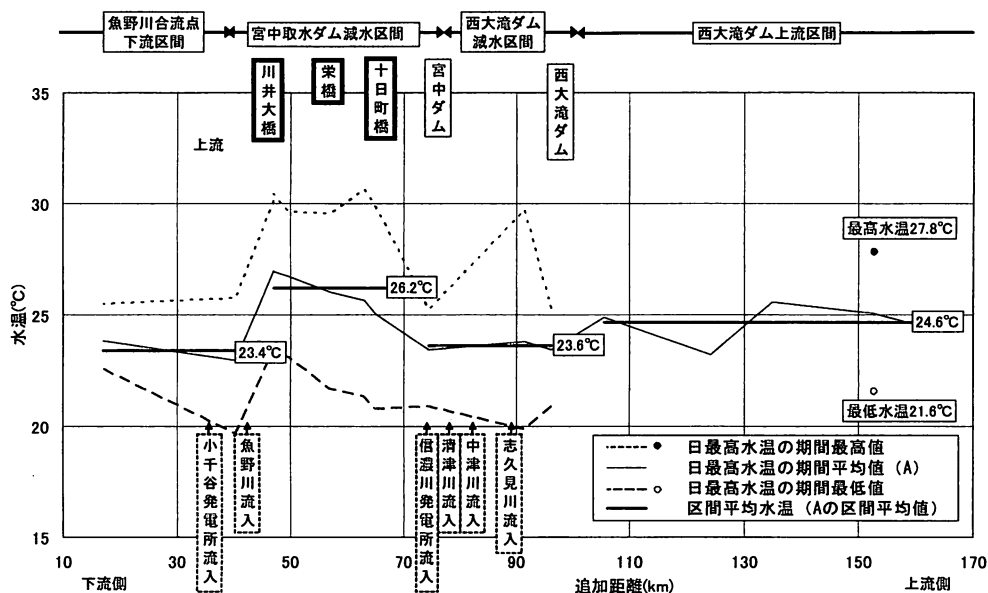


図-2 信濃川中流域における水温の縦断変化 (H18年8月)

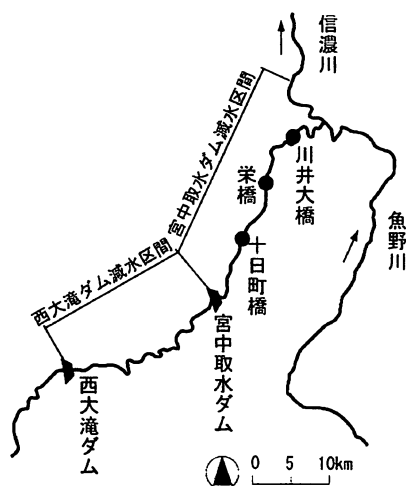


図-1 調査箇所位置

本研究の対象区間である信濃川中流域では、西大滝ダム、宮中取水ダムの2つのダムによるそれぞれ最大 $171\text{m}^3/\text{s}$ 、 $317\text{m}^3/\text{s}$ の取水により、約 63.5km の減水区間が生じ、渇水～平水流量で $100\sim 200\text{m}^3/\text{s}$ の流量が、夏期にはわずか $7\text{m}^3/\text{s}$ 程度となっている。検討は、瀬・淵の分布などの河道形態に着目し、信濃川中流域の減水区間を代表する河道特性を有する場として、宮中取水ダム減水区間に位置する十日町橋、栄橋、川井大橋の各約 1km の範囲を調査箇所とした。

3. 河川水温の状況

(1) 信濃川における水温の縦断分布

平成18年8月に測定した、信濃川中流域の縦断水温変化を図-2に示す。西大滝ダム上流での区間平均水温 24.6°C に対し、西大滝ダム減水区間の平均水温は 23.6°C であり、顕著な水温上昇はみられない。しかし、宮中取水ダム減水区間の平均水温は 26.2°C と、前後の本川区間

と比較して明らかに平均水温が高い傾向が認められた。

(2) 水温の平面分布

高水温区間となっていた宮中取水ダム減水区間の詳細な水温分布を把握するため、平成18年8月8-9日の晴天時に水温の直接観測を行った。計測は水温を面的に把握できるように、河川縦断方向に 100m 間隔の測線を設け、各測線について河川横断方向に 5m 間隔で行った。また測定は各測点の表層と底層において行った。さらに、河川水温リモートセンシング調査(高橋ら⁶⁾の手法による)が長岡技術科学大学環境リモートセンシング研究室の力丸らにより実施され、水温の平面分布図が作成された。(図-3)

測定の結果、水際や小支川、湛水部等で 30°C 程度の高水温箇所が確認された一方、淵底層やワンドでは局所的に $20\sim 24^\circ\text{C}$ 程度の低水温が確認され、同区間でも場により水温が大きく異なることを確認した(図-3、図-4)。

4. 生息魚類と水温の関係

このような夏季の高水温が魚類、特に冷水性の種の生息に影響を与えている可能性が考えられることから、中流域における水温と魚類の生息との関係について検討するため、魚類の水温適性について既存資料及び現地調査による把握を行った。

(1) 現地調査手法

高水温から低水温までの幅広い温度範囲を調査対象とするため、夏季に水域の多くの部分が高水温となる信濃川に加え、支川の魚野川と別水系の荒川、三面川を対象とし、生息魚類と水温の調査を行った。

調査は、各河川の調査箇所に 100m^2 程度の調査地点を機械的に配置し、各調査地点において、投網等による捕獲

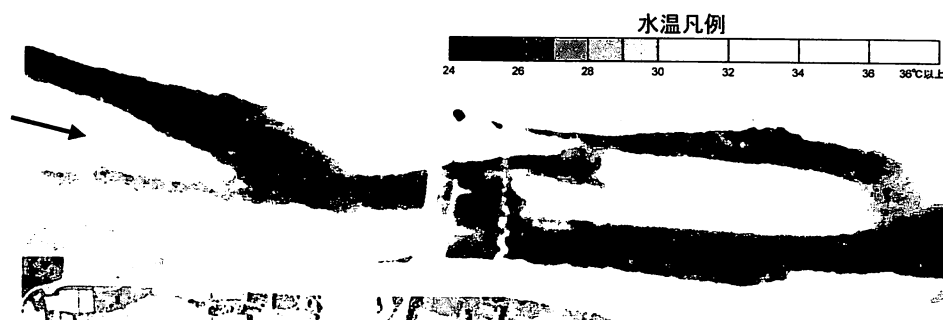


図-3 水温リモートセンシング調査結果（十日町）



図-4 水温現地測定結果（十日町橋）

表-1 魚類調査箇所

河川名	調査箇所	地点数	河川名	調査箇所	地点数
信濃川	川井大橋	12	荒川	高田橋	12
	十日町橋	12		温泉橋	12
魚野川	和南津橋	12	三面川	水明橋	12
	堀之内橋	12		岩沢橋	12
荒川	荒川橋	12		布部橋	12

及び潜水目視調査により、魚種、単位調査量当りの個体数、体長区分、及び水温等の物理環境を計測、記録した。

(2) 調査結果

確認種のうち、代表的な冷水性魚種であるアユ、ヤマメ、カジカの確認個体数と水温を図-5に示す。

調査時の水温別にみると、アユ、ヤマメ、カジカとも26℃以下で確認され、アユは22℃、ヤマメは23℃、カジカは24℃以下で確認個体数が多かった。また、すみ場別にみると、アユはすみ場によらず確認されており、ヤマメは平瀬で、カジカは淵と平瀬で多くみられた。

(3) 魚種の生息好適性

現地調査結果より、魚種別に確認個体数を水温及びすみ場別に整理し、最も生息数の多い、すなわち好適性の高い箇所との比率（〔当該箇所の確認個体数〕／〔調査で確認された最大個体数〕）により0～1.0の値に変換した。この比率に基づき、水温、すみ場別の好適性指標値を0、0.5、1.0の3段階の値として設定し（図-5、6）、さらに水温をすみ場を合わせた種毎の好適性指標値とした上で、3種を合わせて冷水性魚種の生息指標とした（図-7）。この結果、すみ場にかかわらず28℃以上では生息困難、25～28℃では生息可能、25℃以下は生息適となったが、淵では20℃以下では生息可能となった。なお、指標

値の設定にあたっては、個体数密度は不明であるが既往の水温別魚類調査結果で確認例のある水温では好適性指標値が0とならないこと、魚類の生息水温に係る既往文献^{7), 8), 9)}の記載と著しく異ならないことを考慮した。

5. 流量評価の検討手法

(1) 流量評価の考え方

平面的な水温変化と、早瀬・平瀬・淵などのすみ場面積の変化など、魚類の生息に好適となる物理環境条件の変化を適切に評価するため、本研究では以下に示すステップにより、魚類の生息環境から見た河川流量の評価を行った。

- 対象箇所の平均水温には、別途検討した、水面及び河床での熱収支と500m区間毎の流況を考慮した熱水温予測モデル¹⁰⁾により算定された流量ごとの平均水温を用いる
- 現地水温調査結果より、平均水温から平面的な水温分布を推定するとともに、平面2次元流解析により、流量変化に伴う瀬・淵などのすみ場の面積・位置を算出する
- (a)の結果に水温・すみ場毎の魚類の好適性をあてはめ、流量変化に伴う魚類の好適なすみ場の変化状況を評価する

(2) 水温平面予測

水温の現地調査結果から得られた、調査箇所の平均水温と各調査地点の局所水温の関係を図-8に示す。各地点の局所水温と、調査箇所の測定水温の平均値との差を示すΔTは、その場の水深との関係において、水深が浅いほど水温は平均水温より高く、深い箇所ほど低い傾向が認められた。

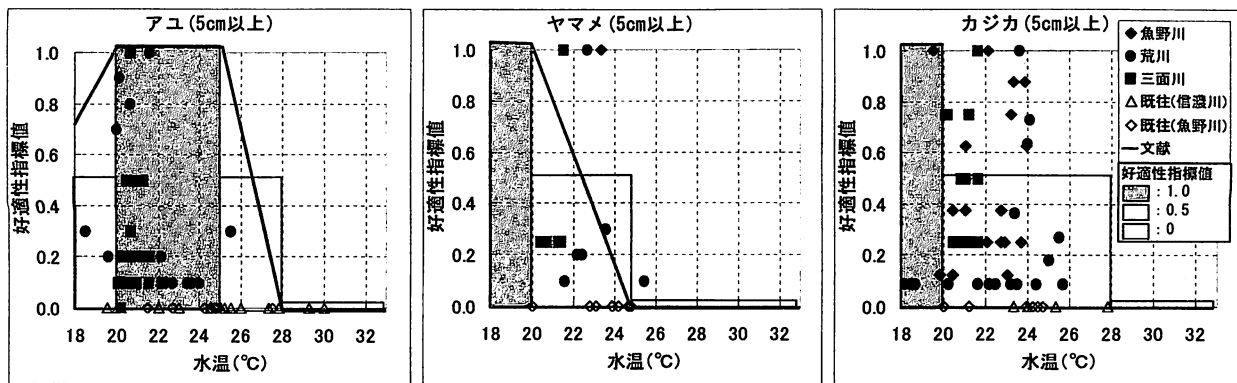


図-5 代表的な冷水性魚種の水温の好適性

注：図中のドットは調査結果に基づく値。棒グラフは設定した0.0, 0.5, 1.0の3段階の指標値

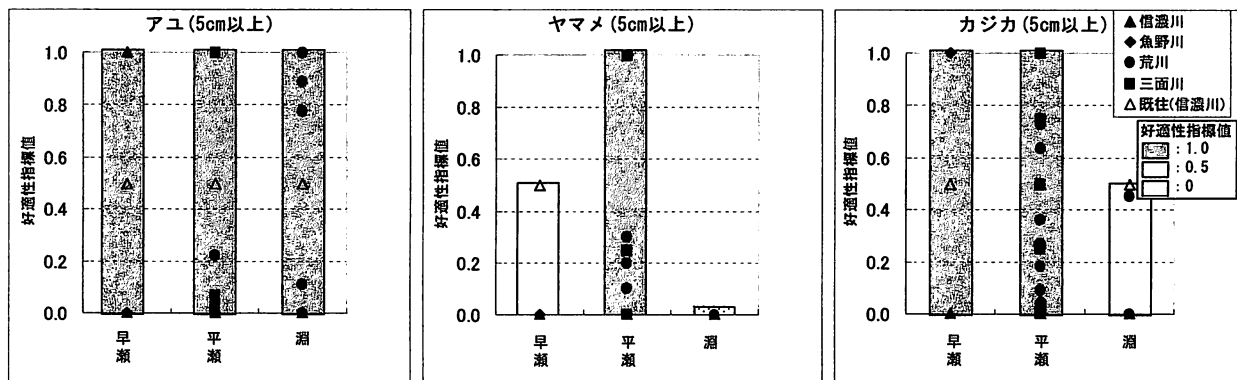


図-6 代表的な冷水性魚種のすみ場の好適性

注：図中のドットは調査結果に基づく値。棒グラフは設定した0.0, 0.5, 1.0の3段階の指標値

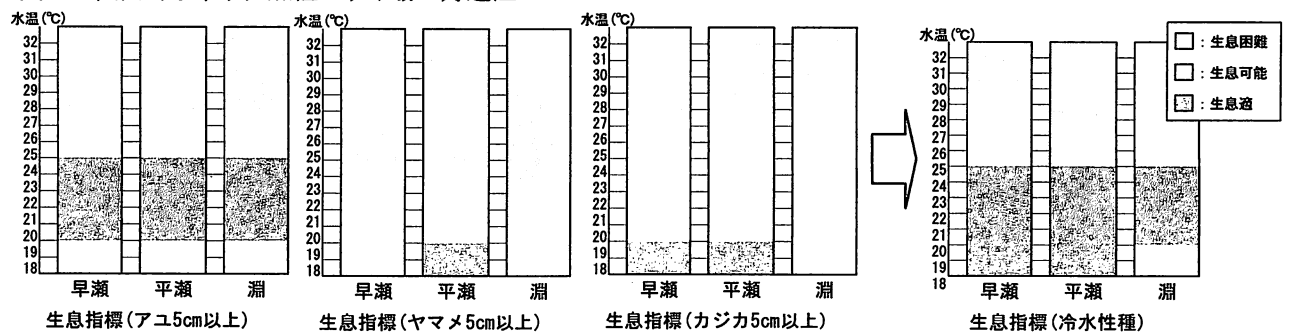


図-7 代表的な冷水性魚種における水温とすみ場を考慮した生息指標の設定

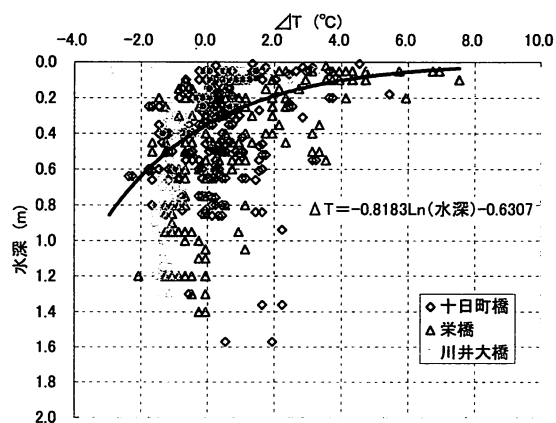


図-8 ΔT と各地点における水深との関係

この関係を用い、河川流量が変化した場合の水深分布を平面二次元流解析により算定することで、 ΔT の平面分

布を推定し、(1) (a)の平均水温を加えることにより、流量変化に伴う水温の平面分布を推定した。

(3) すみ場の変化予測

流量変化に伴う早瀬や平瀬・淵の面積変化の評価は、平面二次元流解析により算出した水深、流速、フルード数の平面分布状況から、萱場ら¹¹⁾が示した河川形態分類に従って行った (図-9)。

(4) 魚類の生息好適性の変化予測

上記の生息指標と流量変化に伴う水温、ハビタット分布の変化に、前項で算出した冷水性魚種の好適性指標をあてはめ、流量変化に伴う魚類の生息好適性の変化を算出した。

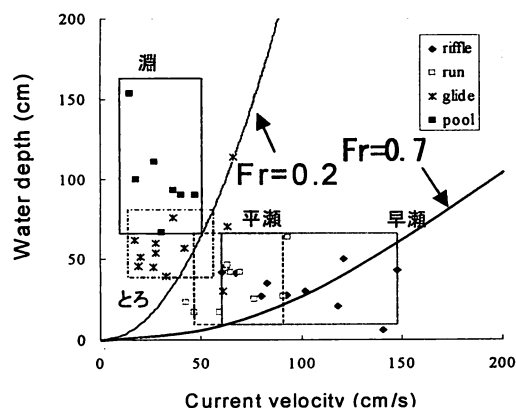


図-9 水深とFr数による河川形態の分類(萱場らに加筆)

表-2 調査箇所における平均水温予測結果

調査箇所	流量		
	7m ³ /s	40m ³ /s	100m ³ /s
十日町橋	28.9℃	27.3℃	26.1℃
栄橋	31.1℃	28.0℃	27.0℃
川井大橋	29.0℃	27.4℃	27.3℃

6. 検討結果

(1) 対象箇所の平均水温

表-2に、対象箇所における流量変化に伴う平均水温予測結果を示す。

(2) 河川水温の平面分布

図-10に水温平面分布の算出例を示す。淵などの水深が大きい箇所で低水温域が見られることに加え、流量が著しく少ないことに起因して、水際部や早瀬において著しい高水温が確認されるという、現地測定やリモートセンシング調査で得られた信濃川減水区間の水温平面分布特性を、概ね評価できているものと考えられる。

河川流量が7m³/sのケースでは、ほぼ全面的に水温が29℃以上を示しているが、40m³/sのケースでは、魚類の生息が可能とされる28℃以下の水域が縦断的に連続することとなり、流量増による水温低下は、遊泳魚などの生息環境の縦断的な連続性を確保する観点からも、効果が大きいと考えられる。

(3) 魚類の生息場変化予測

表-3に河川流量別の生息場面積の予測結果を示す。

河川流量が7m³/sの際には、縦断的な予測水温も高く、平面的な水深分布も小さいため、水温は高く推定されることから、概ねすべての範囲において、冷水性の種の生息は困難と評価される。また、すみ場の評価は、水深が小さく、流速の遅い平瀬や淵の割合が大きい。

一方、河川流量が増加するにつれ、縦断的な予測水温が低下し水深も大きくなることから、平面的な予測水温が低下し、生息可能な領域が増加する評価となる。また、流量の増加に伴い、早瀬の割合が高くなり、メリハリの

ついた河道形態となることを示している。

図-11に、流量変化に伴う生息指標別すみ場面積の変化を示す。

検討対象とした3区間とも、流量が増加するに伴い「生息困難」のすみ場が減少し「生息可能」のすみ場が拡大すると予測された。特に、十日町橋、川井大橋では流量が40m³/sで「生息可能」のすみ場が大きく増加すると予測された。

ただし、流量が100m³/sまで増加しても「生息適」のすみ場は出現しないと予測された。

以上のように、おおむね40m³/s程度の流量までは、「生息可」のすみ場が増加する傾向にあり、流量増による効果が大きいと考えられた。

7. 考察

本検討で得られた成果を以下に示す。

- ・流量増加時の平面的な水温分布について、現地調査により得られた平均水温と局所水温との水温差と水深の関係に着目し、平面的な水温を推定した。その結果、現地水温調査やリモートセンシング調査結果等と同様の平面分布傾向が得られた。
- ・なお、本調査は河川流量の少ない時期(10～20m³/s程度)に実施されたものであることから、今後流量が増加した際の水温特性に関する検証が必要である。
- ・現地魚類調査を基に、水温と瀬・淵などのすみ場に対する好適性を魚種ごとに設定した。
- ・流量増加時の平面水温分布の推定結果と、水温及びすみ場に対する魚種毎の好適性の設定とを組み合わせ、流量増加に伴う魚類生息場の評価を行った。その結果、流量増加による水温の低下や平瀬等のすみ場の増加により、減水による影響を受けている魚類の生息環境は改善される評価となった。
- ・信濃川の減水区間においては、おおむね40m³/s程度に流量を増やしたとき、「生息可」のすみ場が大きく増加し、魚類の生息環境改善効果が大きいと考えられた。
- ・減水区間における夏季の高水温による魚類の生息環境の悪化に対し、河川流量の変化に伴う水温やすみ場の平面分布をシミュレートすることにより、河川流量増による環境改善効果を評価する手法を開発できた。

河川の流量評価は水温以外にも、生物の生息環境そのものや、景観などさまざまな要素によって行われるべきものであるが、本研究の対象区間のように流量変化に伴い著しい水温変化の見られる場合には、水温による生物生息環境への影響についても考慮していく必要があると考える。

謝辞：本研究にあたり、「信濃川中流域水環境改善検討協議会」の西澤委員長はじめ各委員から、多くの助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

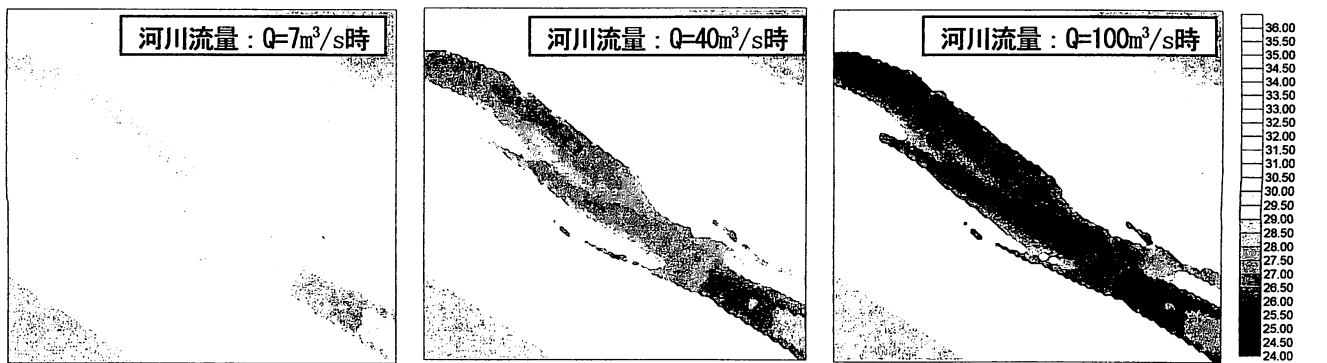


図-10 流量変化に伴う水温平面分布の評価(十日町橋)

表-3 魚類の生息場予測結果 (十日町橋)

水温(°C)

河川流量: $Q=7\text{m}^3/\text{s}$ 時				河川流量: $Q=40\text{m}^3/\text{s}$ 時				河川流量: $Q=100\text{m}^3/\text{s}$ 時			
水温	早瀬	平瀬	淵(ワンド)	水温	早瀬	平瀬	淵(ワンド)	水温	早瀬	平瀬	淵(ワンド)
32	11	48	38	32	0	0	0	32	0	0	0
31	67	232	90	31	6	22	4	31	0	0	0
30	9	607	260	30	29	71	32	30	3	2	2
29	0	26	258	29	65	160	191	29	27	61	14
28	0	0	62	28	145	702	170	28	56	232	177
27	0	0	0	27	18	367	280	27	230	431	118
26	0	0	0	26	0	0	0	26	134	943	192
25	0	0	0	25	0	0	0				
24	0	0	0	24	0	0	0				
23	0	0	0	23	0	0	0				
22	0	0	0	22	0	0	0				
21	0	0	0	21	0	0	0				
20	0	0	0	20	0	0	0				

(単位: 100m^2)

(単位: 100m^2)

(単位: 100m^2)

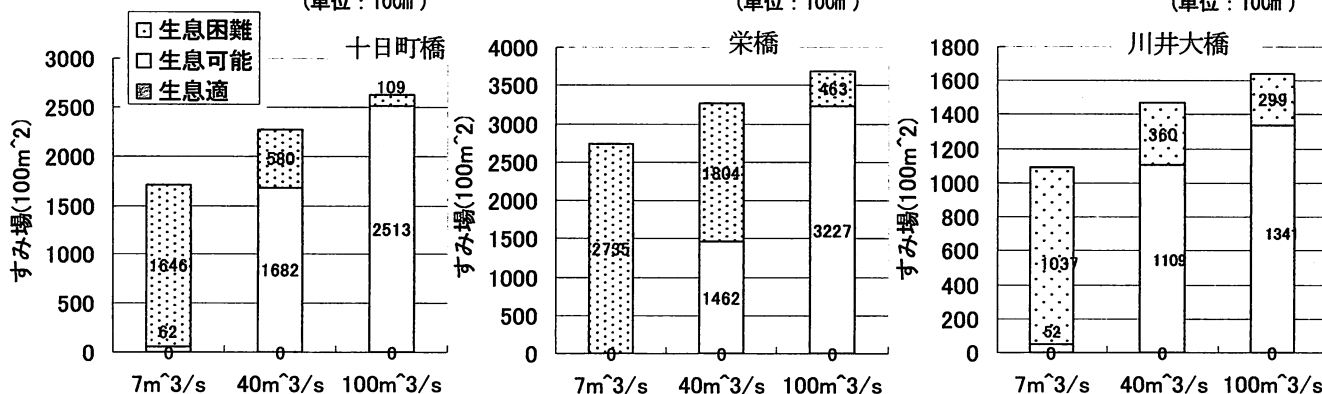


図-11 流量別, 生息指標別すみ場面積の変化

参考文献

- 1) 戸田祐嗣, 松永紘昌, 辻本哲郎: 矢作川下流域における水温変動と生物一次生産特性, 河川技術論文集, 第13巻, pp. 75-80, 2007
- 2) 岡部健士, 竹林洋史: 正木ダム減水区間における水温分布特性とその改善策の検討, 水工学論文集, 第49巻, pp. 1183-1187, 2005
- 3) 国土交通省河川局河川環境課: 正常流量検討の手引き(案), 2007
- 4) (社) 日本環境アセスメント協会: HSI モデル カジカ大卵型, 2006
- 5) 田子泰彦, 辻本良, 村木誠一: 維持流量設定後における神三ダム直下の大きな淵での水温と溶存酸素量の改善, 応用生態工学, 9(1), pp. 63-71, 2006
- 6) 高橋洋輔, 力丸厚, 高橋一義, 坂田健太, 宮川勇二, 西

- 修: 信濃川中流域における河川水温分布特性の把握手法の検討, 第23回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, pp. 80-81, 2005
- 7) 社団法人日本水産資源保護協会: 水産生物適水温図(水産環境水質基準 説明追録), 1980
- 8) 社団法人 農山漁村文化協会: 農文協特産シリーズアマゴ・ヤマメ養殖の条件と飼い方, 1985
- 9) 小島 将男, 松田 繁雄, 杉本剛士: カジカ類の養殖技術, 緑書房, 1999
- 10) 三井共同建設コンサルタント(株): 信濃川中流域水温予測検討業務委託報告書, 2007
- 11) 萱場祐一, 皆川朋子, 中村圭吾: 河川に有する生態的機能の実験的把握手法の開発及び実験的解明に関する調査, 平成17年度土木研究所成果報告書

(2008. 4. 3受付)